**关于“垃圾填埋场沼气和渗沥液致灾机理与控制关键技术”项目申报2017年国家科技进步奖的公示**

**一、项目名称**

垃圾填埋场沼气和渗沥液致灾机理与控制关键技术

**二、推荐意见**

项目成果针对沼气和渗沥液多组分污染物释放影响大、运移过程多变、防渗系统开裂渗漏频发等重大工程灾害，发展了填埋场沼气和渗沥液产生运移的致灾分析理论，创新了沼气和渗沥液释放过程监测与防渗系统失效探测方法，开发了沼气和渗沥液致灾的主动控制技术，解决了沼气和渗沥液运移致灾机理不清、实时监测方法缺乏和被动治理效果不显著三个技术瓶颈问题，实现了填埋场灾变从被动治理到主动调控的突破。

项目研究成果创新显著、技术成果转化程度高，且多项成果已纳入《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》、《生活垃圾土土工试验技术规程》、《生活垃圾卫生填埋气体收集处理及利用工程运行维护技术规程》等国家和行业技术规范，并成功应用于国内外80多个垃圾填埋场，产生了显著的经济、社会和环境效益，为我国垃圾填埋场长期、安全和高效运营及资源化利用做出了重要贡献。

研究成果分别于2006年、2012年和2016年主持获得湖北省科技进步一等奖，及2016年中国产学研合作创新成果一等奖。主编和参编国家及行业标准12项（其中主编8项）；授权国家专利46项（其中发明专利31项）；获批省级施工工法2项；软件著作权11项；SCI、EI论文150余篇；出版专著4部。

经我单位认真审阅，确认全部材料真实有效，符合国家科技奖励办的填写要求，特推荐该项目为国家科技进步一等奖。

**三、项目简介**

本项目属土木工程学科领域。

我国生活垃圾年产量约1.92亿吨，且每年以10%的速度增长，年产量处于世界首位。目前，我国约80%的生活垃圾采用填埋方法处理。由于沼气和渗沥液产生运移致灾机理认知不清、监测方法和主动调控技术缺乏，全国现役1100余座填埋场中，大多存在底部防渗系统渗漏和顶部封场系统开裂问题，导致土壤、地下水和空气污染等重大环境灾害。根据相关部门调查，我国80%以上填埋场周围土壤和地下水污染严重超标，空气中硫化氢最高超标24倍。

针对上述问题，本项目通过十余年系统研究，发展了填埋场沼气和渗沥液产生运移的致灾分析理论，创新了沼气和渗沥液释放过程监测与防渗系统失效探测方法，开发了沼气和渗沥液致灾的主动控制技术，解决了沼气和渗沥液运移致灾机理不清、实时监测方法缺乏和被动治理效果不显著三个技术瓶颈问题，实现了填埋场灾变从被动治理到主动调控的突破。主要创新成果如下：

**1．发展了填埋场沼气和渗沥液产生运移的致灾分析理论。**自主研制了多场多相耦合大型模拟试验系统，实现了沼气和渗沥液产生运移过程的真实模拟，形成的测试分析方法已纳入国家标准CJJ/T 204-2013；提出了沼气和渗沥液产生运移的多相多组分预警模型，提高了沼气产气预测的准确率，克服了以往模型未能真实表征多相介质相互作用下渗沥液产生运移过程及水量预测结果偏低的不足；建立了复杂环境下防渗系统失效分析理论，解决了防渗系统失效泄漏等环境灾害定量分析评价难的“瓶颈”问题。

**2．创新了沼气和渗沥液释放过程监测与防渗系统失效探测方法。**研发了沼气和渗沥液一体化在线监测系统，提高沼气和渗沥液污染物监测效率10倍以上，节约监测成本约45%；研发了填埋场渗沥液渗漏探测的温纳-偶极联合探测系统，渗沥液渗漏有效探测面积较传统电法扩大约1.5倍，漏点识别准确度从低于50%提高到100%，并获批省级施工工法。形成的监测和探测方法分别纳入国家行业技术标准CJJ 175-2012和 CJJ/T 214-2014中。

**3．开发了填埋场沼气和渗沥液致灾的主动控制技术。**开发了沼气-渗沥液运移过程的协同优化调控技术，甲烷收集效率提高了35%-40%，填埋场稳定化时间缩短50%以上；开发了顶部封场生态污泥腾发覆盖技术，降低渗透系数2-3个数量级，已纳入《生活垃圾卫生填埋技术导则》(RISN-TG014-2012)；开发了底部防渗系统粘土胶凝固结防渗技术，提高抗渗性1-2个数量级，降低酸碱溶蚀率35%-45%，提高使用寿命15-20年（与广泛采用的水泥固结防渗技术相比）。

研究成果主持获得省级科技进步一等奖3项，中国产学研合作创新成果一等奖1项；主编和参编国家及行业标准12项（其中主编8项）；获批省级工法2项；授权国家专利46项（发明31项，实用新型15项）；SCI、EI论文150余篇；软件11项；专著4部。

研究成果成功应用于武汉金口等80多个垃圾填埋场，为我国垃圾填埋场安全运行与资源化发挥了关键技术支撑和引领作用，经济效益达10.2亿元，环境效益和社会效益显著。

**四、客观评价**

**1．鉴定意见**

1）2016年湖北省科技厅组织专家组对“生活垃圾填埋场防渗系统失效污染防控的关键技术”成果进行了鉴定，鉴定结果为“…项目系统研究了生活垃圾填埋场防渗系统失效分析理论、探测方法以及针对性的源头控制技术，…该项成果整体达到国际领先水平。…”。

2）2012年湖北省科技厅组织专家组对“垃圾填埋场运行过程中灾变机理及控制技术与工程应用”成果进行了鉴定，鉴定结果为“…项目系统研究了垃圾填埋气体迁移演化与渗沥液污染物释放传输机理，以及垃圾填埋场失效、失稳与失调灾变控制技术，…该项成果整体达到国际领先水平。…”。

3）2006年湖北省科技厅组织专家组对“城市生活垃圾生物处理与生态填埋技术研究与工程应用”成果进行了鉴定，鉴定结果为：“…垃圾填埋气体迁移规律与控制的基础理论研究处于国际先进水平。建议在工程中对上述成果进一步应用和完善”。

**2. 重要获奖**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 获奖项目名称 | 年度 | 奖项名称 | 等级 | 授奖单位 |
| 1 | 生活垃圾填埋场防渗系统失效污染防控的关键技术 | 2016 | 湖北省科技进步奖 | 一等奖 | 湖北省政府 |
| 2 | 垃圾填埋场运行过程中灾变机理及控制技术与工程应用 | 2012 | 湖北省科技进步奖 | 一等奖 | 湖北省政府 |
| 3 | 城市生活垃圾生物处理与生态填埋技术研究与工程应用 | 2006 | 湖北省科技进步奖 | 一等奖 | 湖北省政府 |
| 4 | 生活垃圾填埋场气-液致灾防控与资源化利用关键技术及应用 | 2016 | 中国产学研合作创新成果 | 一等奖 | 中国产学研促进会 |
| 5 | 苏州市七子山垃圾填埋场扩建工程 | 2014 | 全国市政金杯示范工程 | 金杯奖 | 中国市政工程协会 |
| 6 | 武汉市长山口生活垃圾卫生填埋场工程 | 2011 | 全国优秀工程勘察设计行业奖 | 二等奖 | 中国勘察设计协会 |
| 7 | 南宁市城南生活垃圾卫生填埋场扩建工程 | 2010 | 全国优秀工程勘察设计行业奖 | 二等奖 | 中国勘察设计协会 |

**3．学术与行业评价**

1）本项目技术研究成果授权专利46项（其中发明专利31项）；软件著作权出版著作11部。在本领域权威期刊《Applied Clay Science》等刊物上发表SCI、EI收录论文150余篇，专著4部。其中：郑颖人院士对《垃圾填埋气体运移的多场耦合理论及应用》专著的评价为：“…著作紧密围绕填埋气体产出和运移过程中的关键性科学问题；提出了一套填埋气体产出的监测方法，以工程实例为背景开展了垃圾填埋气体资源化利用的预测评价研究，改进了原有的填埋气体收集和控制评价方法，是本著作的又一创新性贡献…”。

2）通过对我国垃圾填埋场多年工程实践经验的总结，凝练形成了国家和行业技术标准12部（其中主编8部），典型评价如下：

a）2013年住房和城乡建设部工程勘察与测量标准化技术委员会组织专家组对《生活垃圾土土工试验技术规程》进行了审查，认为：“…《规程》针对垃圾土的特殊工程特性对不同类型试验的试样尺寸、试验仪器设备、试验方法等作了规定，是国际上首部专门针对垃圾土土工试验方法的标准，具有较强的创新性，总体上达到了国际先进水平…”。

b）2011年住房和城乡建设部标准定额研究所组织专家组对《生活垃圾卫生填埋技术导则》进行了审查，认为：“…填埋场污染物安全监控、远程在线监督以及填埋新技术等方面提出了技术要求和指导意见，具有创新性。导则的编制达到国内领先水平…”

c）2011年住房和城乡建设部标准定额研究所组织专家组对《生活垃圾卫生填埋气体收集处理及利用工程运行维护技术规程》进行了审查，认为：“该标准对填埋气体抽气控制、预处理、气体利用…等方面提出了全面的运行维护要求，尤其是在填埋气体的安全控制方面具有创新性”。

d）2013年住房和城乡建设部标准定额司组织专家组对《垃圾填埋场防渗土工膜渗漏破损探测技术规程》进行了审查，认为：“…该规程填补国内生活垃圾填埋场土工膜渗漏破损探测方法的空白，整体处于国内领先水平”。

**4. 应用评价**

项目研究成果解决了垃圾填埋场运行过程中失效、失稳与失调灾变评价和控制难题，成功应用于国内多个典型垃圾填埋场，并获得了高度评价：

（1）2015年法国巴黎联合国气候大会组委会C40 奖励委员会对武汉金口垃圾填埋场好氧生态修复工程的评价为：“金口垃圾填埋生态修复工程是迄今最具挑战性的修复工程……，共完成了共计52公顷覆盖面积的垃圾填埋场修复工作，显著改善了场区周边的人文及生态环境，减少了填埋场堆水和空气环境的污染，降低了沼气释放和潜在爆炸造成的安全风险，缩短了垃圾的降解时间，对金口填埋场所在地区生态系统的改善作出了重要贡献，为垃圾填埋场生态修复再利用提供了典范。”

（2）由项目完成单位中南市政设计院牵头承担的“武汉市长山口生活垃圾卫生填埋场工程”获得全国优秀工程勘察设计行业奖。该填埋场是我国典型废弃矿山型垃圾填埋场，建设前采石爆破致使库区岩体破碎损伤严重，裂隙发育显著，抗渗性和稳定性差。粘土胶凝固结防渗技术实施后，成功实现了库区岩体的防渗和加固。运行6年多来，技术使用区域未出现渗沥液渗漏问题。

**五、推广应用情况**

项目成果成功应用于80多个填埋场。典型的有：**武汉金口垃圾填埋场**：世界最大的好氧生态修复填埋场，作为第十届中国国际园林博览会的主会场。技术使用前为简易型填埋场，沼气收集效率不高，项目成果实现了整体应用，解决了顶部封场系统开裂和垂直防渗系统破损渗漏问题，实现了好氧修复过程中气-液污染物等指标的实时监测和氧气注-抽系统的安全和高效运行，保障了园博会的顺利召开，获得2015年法国巴黎联合国气候大会“C40最佳固废处置奖”。**武汉长山口垃圾填埋场**：典型废弃矿山型垃圾填埋场，建设前采石爆破致使库区岩体破碎损伤严重，裂隙发育显著，抗渗性和稳定性差，采用粘土胶凝固结防渗技术后，成功实现了库区岩体的防渗和加固，技术使用区域尚未出现渗沥液渗漏问题。**宜昌黄家湾填埋场**：优化调控和在线监测技术使用前，沼气年平均收集效率仅为35%，技术实施后，年收集效率提高至85%-91%。随着我国生活垃圾填埋场数量的不断增加，研究成果将会得到更加广泛的推广应用。

**六、主要知识产权证明目录（不超过10件）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 有效状态 |
| 发明专利 | 填埋气体和渗滤液传输过程的监测试验系统 | 中国 | ZL200610124780.6 | 2012.07.25 | 1012371 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 薛强、冯夏庭、盛谦、梁冰、谷峰、谷志孟、赵颖、刘磊 | 有效 |
| 发明专利 | 一种垃圾填埋场防渗层破损检漏探测系统 | 中国 |  | 2016.11.23 | 2016111401075150 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 薛强、王华庆、刘凯、梁冰、陈亿军 | 已授权 |
| 发明专利 | 以市政脱水污泥为基的垃圾填埋场封场覆盖材料的制备及应用 | 中国 | ZL201110070927.9 | 2013.10.16 | 1286310 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 薛强、陈亿军、万勇、刘勇、熊辉、刘磊、赵颖 | 有效 |
| 发明专利 | 气压温控式填埋场污染物传输特性测试试验系统 | 中国 | ZL200710169020.1 | 2010.06.30 | 647031 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 薛强、冯夏庭、胡竹云、赵颖、刘磊、刘晓丽、陈亿军 | 有效 |
| 发明专利 | 一种环境梯度作用下压实黏土防渗结构开裂失效模拟试验系统 | 中国 | ZL 201410272339.7 | 2015.10.28 | 1824704 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 薛强、赵立业、万勇、刘磊、赵颖 | 有效 |
| 发明专利 | 垃圾填埋场渗沥液渗漏污染物检测与污染土修复方法 | 中国 | ZL201110460723.6 | 2013.08.07 | 1251034 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 薛强、陈亿军、赵颖、陈朱蕾、李振泽、刘勇 | 有效 |
| 发明专利 | 一种垃圾填埋场用竖井分布及运行优化设计方法 | 中国 |  | 2017.1.3 |  | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 刘磊、薛强、曾刚、王平、陈亿军、马骏 | 已授权 |
| 发明专利 | 液压式垃圾钻孔机 | 中国 | ZL201019091003.X | 2012.08.08 | 1020493 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 薛强、李先旺、胡竹云、席本强 | 有效 |
| 发明专利 | 一种垃圾填埋场防渗帷幕用注浆材料及其制备方法 | 中国 | ZL201110288575.4 | 2013.04.10 | 1171047 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 李江山、薛强、刘磊、胡竹云 | 有效 |
| 软件著作权 | 地下环境系统中污染物多相多组分传输模拟软件系统 | 中国 | 2008SR11631 | 2008.6.20 | 098810 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 薛强、梁冰、赵颖、席本强 | 有效 |

**七、主要完成人情况**

1. 薛强，中国科学院武汉岩土力学研究所，研究员（副所长）。项目总体负责人，全面负责组织与实施本项目的理论、技术创新及工程应用研究。

2. 刘磊，中国科学院武汉岩土力学研究所，副研究员。1）构建了沼气产生运移过程中生物降解速率-温度-渗透系数之间本构方程；2）提出了填埋场气井影响半径的判定方法；3）研发了以沼气收集效率最大化为目标的井群协同分布及调控技术。

3. 陈朱蕾，华中科技大学，教授。1）提出了垃圾填埋场膜下岩土体污染区域识别方法；2）提出了填埋场渗沥液产生过程的定量评价方法；3）建立垃圾填埋场底部粘土胶凝固结防渗系统耐久性评价方法。

4. 姚海林，中国科学院武汉岩土力学研究所，研究员。1）提出垃圾填埋场底部防渗系统穿透失效定量分析方法研究；2）参与垃圾填埋场沼气多组分远程在线监测系统研究；3）参与垃圾渗沥液多组分产生运移过程机制研究；

5. 梁冰，辽宁工程技术大学，教授（副书记）。1）构建了垃圾填埋场沼气产生运移生物-热-渗流耦合动力学模型；2）参与多场耦合作用下沼气和渗沥液产生运移过程监测方法研究； 3）参与沼气和渗沥液运移过程的协同优化调控技术研究。

6. 邓志光，中国市政工程中南设计研究总院有限公司，教授级高级工程师（总工程师）。1）负责生态污泥腾发覆盖技术的工程设计和施工方法研究；2）参与完成了粘土胶凝固结注浆工艺设计的部分研究；3）参与组织实施了粘土胶凝固结防渗技术在典型生活垃圾填埋场渗漏防控工程中的应用。

7. 万勇，中国科学院武汉岩土力学研究所，助理研究员。1）构建了封场覆盖系统开裂失效的耦合本构模型；2）参与多场多相耦合模拟试验系统的研制；3）参与底部防渗系统失效分析评价模型研究。

8.刘勇，北京高能时代环境技术股份有限公司，高级工程师（副主任）。1）负责垃圾填埋场粘土胶凝固结防渗材料优化配方和注浆工艺研究；2）组织并实施了典型垃圾填埋场底部防渗系统粘土胶凝固结防渗技术和生态污泥改性腾发覆盖技术的工程应用。

9.陈亿军，中国科学院武汉岩土力学研究所，助理研究员。1）参与沼气和渗沥液产生过程中温度及水分控制技术研究；2）参与垃圾渗沥液渗漏污染范围识别技术研究；3）参与生态污泥改性材料的研制及工艺设计。

10.李江山，中国科学院武汉岩土力学研究所，助理研究员。1)参与垃圾填埋场底部防渗系统失效规律的部分研究；2）参与粘土胶凝固结防渗注浆材料的研发及工艺设计；

11.罗继武，中国市政工程中南设计研究总院有限公司，高级工程师（副院长）。1）参与温纳-偶极探测技术的工程设计和施工方法研究；2）参与组织并实施了粘土胶凝固结防渗技术在典型垃圾填埋场防渗帷幕的工程应用。

12.陈朱琦，华中科技大学，副教授。1）参与垃圾填埋场渗沥液降解产出过程的定量评价方法部分研究；2）参与粘土胶凝固结防渗系统耐久性评价方法的部分研究。

13.席本强，辽宁工程技术大学，副教授。1）参与沼气和渗沥液污染物远程在线监测系统的部分研究；2）参与实施了沼气和渗沥液污染物远程在线监测系统在典型垃圾填埋场中的工程应用。

14.陈望明，北京高能时代环境技术股份有限公司，高级工程师（总经理）。1）参与垃圾填埋场粘土胶凝固结防渗材料注浆工艺的部分研究；2）参与组织并实施了粘土胶凝固结防渗技术在典型垃圾填埋场的工程示范和应用。

15.姜利国，辽宁工程技术大学，讲师。1）参与垃圾填埋场防渗系统失效的室内试验研究；2）参与实施了垃圾填埋场防渗系渗漏探测现场工程示范。

**八、主要完成单位情况**

1.中国科学院武汉岩土力学研究所.

主要贡献：1）负责本项目的全面研究工作，包括研究方法的提出、研究方案的制定、实施过程组织及工程应用等；2）自主研发了垃圾填埋场沼气和渗沥液产生运移过程的试验监测和探测系统，包括沼气和渗沥液产生运移过程多场多相耦合大型模拟试验系统、渗沥液渗漏探测的温纳-偶极联合探测系统和沼气和渗沥液污染物多参数一体化远程在线监测系统；3）建立了顶部封场系统和底部防渗系统失效分析理论，揭示了填埋场沼气和渗沥液产生运移过程与顶部封场和底部防渗系统相互作用诱发的失效机制；4）提出了填埋场屏障系统灾变的主动控制技术，包括：顶部封场生态污泥腾发覆盖技术和底部防渗系统粘土胶凝固结防渗技术；5）主编《生活垃圾土土工试验技术规程》（CJJ/T 204-2013）和《生活垃圾填埋气体收集处理及利用工程运行维护技术规程》（CJJ175-2012）等多项国家和行业技术标准与规范。

2. 华中科技大学

主要贡献：1）提出垃圾填埋场膜下岩土体污染区域识别方法研究；2）构建了垃圾填埋场底部粘土胶凝固结防渗系统耐久性评价方法；3）主编《生活垃圾卫生填埋技术导则》（RISN-TG014-2012）和《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》（GB50869-2013）等多项国家和行业技术标准与规范；4）参与完成填埋场渗沥液产出的定量评价方法。

3. 辽宁工程技术大学

主要贡献：1）构建了垃圾填埋场沼气产生运移生物-热-渗流耦合动力学模型；2）负责垃圾渗沥液多组分传输数值仿真计算程序的编制；3）参与沼气和渗沥液运移过程的协同优化调控技术研究。4）参与实施了沼气和渗沥液污染物远程在线监测系统在典型垃圾填埋场中的工程应用。

4. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司

主要贡献：1）负责生态污泥腾发覆盖技术的工程设计和施工方法研究；2）参与粘土胶凝固结注浆工艺设计的部分研究；3）参与组织实施了典型生活垃圾填埋场渗漏污染防控的粘土胶凝固结防渗技术的工程应用；4）参编《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》（GB50869-2013）等多项国家和行业技术标准与规范。

5. 北京高能时代环境技术股份有限公司

主要贡献：1）负责组织并实施了典型垃圾填埋场粘土胶凝固结防渗技术的工程应用；2）参与实施了污泥改性封场覆盖技术的工程应用；3）主编《垃圾填埋场用土工网垫》（CJ/T 436-2013）等多项国家和行业技术标准与规范。

**九、完成人合作关系说明**

 为解决垃圾填埋场沼气和渗沥液致灾机理与控制关键技术，实现创新科技成果的应用转化与实践验证，项目完成人和完成单位充分发挥各自间的优势互补，构建了以中国科学院武汉岩土力学研究所（武汉岩土所）、华中科技大学（华中科大）和辽宁工程技术大学（辽宁工大）为创新主体，以中国市政工程中南设计研究总院有限公司（中南市政院）和北京高能时代环境技术股份有限公司（高能环境）为技术输出平台的产学研合作团队。

武汉岩土所（薛强、刘磊、姚海林、万勇等）与华中科大（陈朱蕾、陈朱琦）、高能环境（刘勇、陈望明）在垃圾填埋气体收集方法、防渗系统污染物渗漏探测方法及设备、新型防渗材料及工艺等方面开展了长期联合攻关，相关成果凝练后共同编制完成了《生活垃圾卫生填埋气体收集处理及利用工程运行维护技术规程》（CJJ175-2012）和国内首部《垃圾填埋场防渗土工膜渗漏破损探测技术规程》（CJJ/T214-2014）等国家标准，弥补了国内在垃圾填埋场污染物同步监测及渗漏过程探测技术方面的空白。先后分别获得了2006年、2012年和2016年3项湖北省科技进步一等奖。

 武汉岩土所（薛强、刘磊和陈亿军等）与辽宁工大（梁冰、席本强和姜利国）自2003年以来，在垃圾填埋场气/液传输和防渗系统失效机理，以及气/液过程监控等方面开展了联合探索，先后共同完成发明专利《填埋气体和渗滤液传输过程的监测试验系统》及论文《Fluid-solid coupling mathematical model of contaminant transport in......》等多项成果，为填埋场气-液污染防控措施的提出奠定了理论基础。

武汉岩土所（薛强、刘磊和李江山等）与中南市政院（邓志光、罗继武）在生活垃圾填埋场防渗系统失效评价方法与优化设计理论方面开展了长期合作，2011年-2013年共同完成《生活垃圾土土工试验技术规范》，并与华中科大（陈朱蕾）和高能环境（刘勇）共同编著《生活垃圾卫生填埋工程实用技术指南》，凝练形成的研究成果已在第十届中国国际园林博览会金口垃圾填埋场生态修复工程等80多个填埋场中成功应用，避免了沼气和渗沥液泄漏等重大灾害事故的发生，保障了填埋场长期、安全和高效的运行。

通过上述协同创新与联合攻关，项目完成人及完成单位实现了垃圾填埋场沼气和渗沥液致灾机理与控制关键技术的研发、应用与转化，逐步形成“科学研发-技术转化-示范应用”的合作模式，建立了以第一完成单位为核心的科技创新与成果转化团队，取得了显著的经济、社会和环境效益。